

# RESULTADOS PRELIMINARES: UTILIZAÇÃO DA ESCÓRIA DE ALTO FORNO A CARVÃO VEGETAL EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

Marluce Teixeira Andrade Queiroz (UNILESTE) marluce.queiroz@yahoo.com.br  
Graziella Pereira Pires dos Santos (UNILESTE) cep@unilestemg.br  
Brenner Rodrigues Caldeira (UNILESTE) cep@unilestemg.br  
Cleider Lima de Oliveira (UNILESTE) cep@unilestemg.br

## RESUMO

*A produção do aço gera uma série de resíduos industriais. A reciclagem destes resíduos mostra-se como uma alternativa capaz de minimizar os impactos ambientais negativos decorrentes do processo produtivo. Dentre estes resíduos, assume especial importância o resíduo de escória granulada de alto forno a carvão vegetal. Neste trabalho foi feita avaliação da resistência à compressão axial em estruturas de concreto produzidas com cimento de escória de alto forno a coque, areia e escória de alto forno a carvão vegetal. Os resultados foram comparados com os obtidos para estruturas de concreto produzidas nas mesmas condições com substituição da referida escória pela brita gnaisse. A confecção dos corpos de prova atendeu a NBR 5738(1994a) e os ensaios de resistência à compressão foram padronizados conforme a NBR 5739 (1994b). Os resultados mostraram uma maior resistência dos concretos produzidos com escória de alto forno a carvão vegetal com uma média de 6,9%. Além disso, esses concretos apresentam a vantagem de eliminar o resíduo acumulado nas usinas siderúrgicas, reduzindo os impactos ambientais das indústrias siderúrgicas e cimenteiras.*

*PALAVRAS-CHAVE: Concreto, Escória, Resistência à Compressão.*

## 1. INTRODUÇÃO

A atividade de recuperação de subprodutos é indispensável em face da necessidade de proteção ambiental. As indústrias siderúrgicas, em especial, produzem grande quantidade de resíduos, em função do processo de produção do aço. Estabelecer formas para o aproveitamento destes resíduos é um dos grandes desafios da sociedade moderna.

Na produção do aço o carvão (vegetal ou mineral) exerce dupla função. Como combustível, permite alcançar altas temperaturas necessárias à fusão do minério. Como redutor, associa-se ao oxigênio que se desprende do minério com a alta temperatura, deixando livre o ferro. A remoção do oxigênio do ferro para ligar-se ao carbono ocorre no interior do alto-forno, e é conhecido como processo de redução. Neste processo, o ferro se liquefaz e é chamado de ferro gusa. Impurezas como o calcário, sílica, etc., formam a escória, que é o principal resíduo do alto forno. A etapa seguinte do processo é o refino. O ferro gusa é levado para aciaria, ainda em estado líquido, para ser transformado em aço, mediante queima de impurezas e adições de elementos de liga. O refino do aço se faz em fornos a oxigênio ou elétricos (SHREVE, 1977).

A utilização do coque de carvão mineral é preponderante no cenário nacional atual. No entanto, o coque de carvão vegetal ainda é utilizado em algumas regiões onde existem reservas de florestas plantadas ou de matas nativas exploráveis sob o regime de manejo, e a complementação da sucata nos fornos elétricos a arco. Além disso, existe um grande acúmulo das escórias produzidas a partir do carvão vegetal em diversas indústrias, demandando a sua reciclagem como forma de economia ambiental (MASSUCATO, 2005).

O principal mercado de consumo da escória de alto forno obtida com coque mineral é a indústria cimenteira, sendo esta uma importante forma de aproveitamento deste resíduo. A produção anual de cimento gera aproximadamente 7,9% de toda a emissão de gás carbônico no mundo inteiro, sendo que metade disto resulta da calcinação do calcário e o restante provém do uso de combustíveis fósseis na produção do clínquer (ROSTIK, 1999 e ERHERENBERG e GEISLER, 1999). A substituição parcial do clínquer na produção do cimento por materiais recicláveis, como no caso das escórias, corresponde a vantagens econômicas, energéticas, e ainda reduz o impacto ambiental negativo na fabricação do cimento, com a diminuição na formação de gases, especialmente o gás carbônico; economia de energia devido à redução do calor de formação do clínquer; preservação de recursos naturais, qualificando-se como uma prática sustentável (MURPHY *et al.*, 1997 e SHI e QIAN, 2000).

Uma outra forma de utilização da escória granulada de alto forno consiste no uso de suas propriedades cimentícias, em estruturas de concreto. Essas propriedades são associadas à reatividade da escória de alto forno em sua forma vítrea. Todavia, deve-se ressaltar que essa condição apenas não é suficiente para o seu emprego como aglomerante, pois é necessário que a escória seja solúvel, isto é, passível de ataque pela água, para que os elementos formadores dos compostos hidráulicos sejam liberados. Essa solubilidade é elevada em função do teor de óxido de cálcio e óxido de magnésio constituintes da escória, e a presença de íons cloreto e/ou sulfato na água, sendo a velocidade de reação favorecida pela finura da escória (CINCOTTO *et al.*, 1992).

A ciência do concreto é relativamente recente e é esperado que nos próximos anos, o seu desenvolvimento deverá implicar na produção de novos tipos de concretos que melhor satisfaçam diferentes necessidades sócio-econômicas (AÏTCIN, 2000). A escória de alto forno a carvão vegetal tem teores significativos de óxido de cálcio (26 a 35%) logo é facilmente atacada pela água levando à formação dos compostos hidráulicos, sugerindo a possibilidade de sua utilização em estruturas de concreto de forma análoga à escória de alto forno com coque mineral. Neste trabalho, utilizamos a NBR 5738 (ABNT, 1994a) na moldagem de corpos-de-prova de concreto cilíndricos utilizando-se Cimento Portland de Alto-Forno (CPAF), areia e brita gnaiss que é normalmente utilizada na região do Vale do Aço em Minas Gerais para confecção de artefatos de cimento. Em um segundo ensaio substituiu-se a brita gnaiss pela brita de escória granulada de alto de forno a carvão vegetal. Os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados segundo os procedimentos da NBR 5739 (ABNT, 1994b). Os resultados preliminares indicam que a utilização da brita de escória granulada de alto forno a carvão vegetal torna o concreto mais resistente aos esforços de resistência à compressão axial aos sete dias.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Os materiais utilizados nesta pesquisa para a confecção dos corpos de prova dos concretos foram: Cimento Portland de Alto Forno (CPAF), areia e brita de escória de alto forno e brita gnaiss. A caracterização físico-química do CPAF foi obtida a partir dos dados fornecidos pelo fabricante do cimento (Tabela 1).

Tabela 1. Composição ponderal e características físicas do CPAF

Componente	% Ponderal	Características Físicas	Valores
Clínquer	37,9		
Escória	53,4		
Gipsita	4,4	Início de pega (min.)	260
Material Carbonático	4,3	Fim de pega (min.)	400
3CaO.SiO <sub>2</sub> (C <sub>3</sub> S)	21,0	Finura Blaine (cm <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> )	4050
2CaO.SiO <sub>2</sub> (C <sub>2</sub> S)	5,0	Massa específica (g.cm <sup>-3</sup> )	2,98
3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (C <sub>3</sub> A)	3,2		
4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (C <sub>4</sub> AF)	3,5		

A caracterização química da brita gnaisse e da brita de escória de alto forno foi feita mediante a análise química por via úmida complexiométrica. A sílica foi determinada por gravimetria e a perda ao fogo por calcinação foi determinada em mufla elétrica a 1100°C, os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Composição ponderal da brita Gnaisse e da brita de escória de alto-forno a carvão vegetal

Composição Química (%)	Brita Gnaisse	Escória de Alto-Forno a Carvão Vegetal
SiO <sub>2</sub>	67,34	44,87
K <sub>2</sub> O	4,61	1,18
Na <sub>2</sub> O	2,26	0,054
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,78	14,75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,34	2,17
CaO	1,83	31,8
MgO	0,025	1,12
Perda ao Fogo	0,59	0,34

### 3. CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Neste trabalho experimental, na confecção dos corpos de prova com brita gnaisse, observou-se a proporção de aglomerante: agregados de 1:5 ( $m=5$ ), com teor de argamassa de 50% e relação água/aglomerante de 0,42 (Tabela 3). A relação de 0,42 garante a obtenção de concretos mais resistentes quando expostos as condições agressivas, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2003).

Tabela 3. Especificação dos corpos de prova com a brita gnaisse

Traço	Cimento (kg.m <sup>-3</sup> )	Aditivo (ml.m <sup>-3</sup> )	Areia (Kg.m <sup>-3</sup> )	Brita Gnaisse (kg.m <sup>-3</sup> )	Água (kg.m <sup>-3</sup> )	Abatimento (mm)
1:2:3:0,42	395,30	1425,00	790,60	1185,90	166,03	20 ± 5

Utilizaram-se as mesmas especificações técnicas para a confecção dos corpos de prova de concreto com a brita de escória granulada de alto forno (Tabela 4).

Tabela 4. Especificação dos corpos de prova com a brita de Escória Granulada de alto-forno

Traço	Cimento (kg.m <sup>-3</sup> )	Aditivo (ml.m <sup>-3</sup> )	Areia (Kg.m <sup>-3</sup> )	Brita de Escória (kg.m <sup>-3</sup> )	Água (kg.m <sup>-3</sup> )	Abatimento (mm)
1:2:3:0,42	395,30	1425,00	790,60	1185,90	166,03	20 ± 5

Na mistura dos materiais utilizou-se betoneira de eixo inclinado. Para os ensaios foram moldados corpos-de-prova cilíndricos com 10cm de diâmetro e 20cm de altura (10X20cm), moldados em duas camadas. Para garantir o adensamento adequado utilizou-se mesa vibratória durante o tempo necessário para permitir a compactação do concreto no molde de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 1994a).

### 4. CURA DOS CORPOS DE PROVA

Os procedimentos adotados para controlar a hidratação do cimento são conhecidos como cura. A cura é importante para garantir que o processo de endurecimento ocorra corretamente e estruturas apresentem o desempenho esperado. A principal função da cura é evitar que o concreto perca água para o ambiente e retraia abruptamente, o que acarreta o surgimento de fissuras (TANGO & HAMASSAKI, 1993).

Os corpos de prova foram identificados usando a nomenclatura Corpo de Prova com Brita Gnaisse (CPBG) e Corpo de Prova com Brita de Escória (CPBE). O processo de cura utilizado foi à cura úmida, sendo os corpos de prova totalmente imersos em água para evitar a evaporação da água até o prazo de sete dias.

Após a desmoldagem, os corpos-de-prova foram imersos em água saturada de cal durante o período de sete dias. Decorrido este prazo, os concretos ficaram expostos em ambiente de laboratório até a data dos ensaios (temperatura ambiente aproximadamente de 25°C e umidade relativa do ar próxima a 65%). Neste trabalho, estabeleceu-se a data de sete dias para a realização dos ensaios de resistência à compressão axial.

## 5. ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Na realização dos ensaios de resistência à compressão axial utilizou-se como parâmetro técnico a NBR 5739 (ABNT, 1994b). As rupturas foram realizadas com sete dias. Para cada ensaio foram moldados quatro corpos - de prova do tipo CPBG (10x20cm) e quatro corpos - de prova do tipo CPBE (10x20cm).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 5 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial dos concretos produzidos com brita gnaisse com ruptura após sete dias e corpos de prova de 10x20cm. Verifica-se que a resistência média à compressão foi de 18,9MPa.

Tabela 5. Resistência à compressão após sete dias em corpos de prova de brita gnaisse 10X20cm

CP 10X20cm	Carga (Kgf)	Fc (MPa) – 7 dias
CPBG <sub>1</sub>	17000	21,6
CPBG <sub>2</sub>	13000	16,5
CPBG <sub>3</sub>	16520	21,0
CPBG <sub>4</sub>	13000	16,5
Média		18,9

CP – Corpo de Prova

Fc – Força de Compressão

Na Tabela 6 encontram-se indicados os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial realizados com corpos de prova 10x20cm de estruturas de concreto utilizando como agregado à brita de escória de alto-forno a carvão vegetal.

Tabela 6. Resistência à compressão após sete dias em corpos de prova de brita gnaisse 10X20cm

CP 10X20cm	Carga (Kgf)	Fc (MPa) – 7 dias
CPBE <sub>1</sub>	19000	24,1
CPBE <sub>2</sub>	17000	21,6
CPBE <sub>3</sub>	16000	20,3
CPBE <sub>4</sub>	12000	15,2
Média		20,3

CP – Corpo de Prova

Fc – Força de Compressão

A análise dos resultados apresentados na Tabelas 5 e 6 indicam que a resistência aos esforços de compressão axial dos CPBE é em média 6,9% maior quando comparado aos resultados dos CPBG.

## 7. CONCLUSÕES

A definição quanto à aplicabilidade de um determinado resíduo, depende da avaliação de suas características físicas, químicas e estruturais, em função de sua utilização. Os ensaios realizados com os concretos produzidos com Cimento Portland de Alto Forno (CPAF), areia e brita de escória granulada de alto forno a carvão vegetal, apresentaram resultados aos esforços de compressão axial (resistência mecânica) em média 6,9% maiores que os concretos produzidos com cimento, areia e brita gnaisse. Estes resultados sugerem que é viável a utilização das escórias granuladas de alto-forno a carvão vegetal na produção de concretos. O uso deste tipo de escória, além de representar economia em função do menor consumo de cimento, também representa vantagens como uma forma de reduzir o resíduo acumulado nas usinas siderúrgicas, e diminuir os impactos ambientais das indústrias siderúrgicas e cimenteira.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado – Procedimento, Rio de Janeiro: ABNT, 1985.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. – Procedimento, Rio de Janeiro: ABNT, 1994 a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1994 b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

AÏTCIN, P. Cements of yesterday and today – Concrete of tomorrow. In: Cement na Concrete Research. Canadá, 2000.

EHRENBERG, A.; GEISLER, J Carbon dioxide emissions with cement production. In: Iron and steel slags – properties and utilization. Duisburg: 2000. Pl. 281 – 292. Artigo apresentado no International Symposium on the Utilization of Metallurgical Slag – ISUS'99, 1999, Beijing, China.

MASSUCATO, Carlos José Utilização de escória de alto-forno a carvão vegetal como adição no concreto/Carlos José Massucato. Dissertação de Mestrado – Campinas, SP: [s.n.], 2005.

MURPHY, J. N.; MAADOWCROFT, T. R. e BARR, P. V. Enhancement of the cementitious properties of steelmaking slag. Canadian Metallurgical Quarterly, 1997, v. 36, n.5, p. 315 – 331.

ROSTIK, L. F. EAF steel company and the by-product synergy environment. In: REWAS'99 – GLOBAL SYMPOSIUM AND RECYCLING, WASTE TREATMENT AND CLEAN TECHNOLOGY, Vol. 2, 1999, San Sebastián, Spain. Anais. San Sebastián: Minerals, Metals & Materials Society e Fundación Inasmet, 1999. p. 1593 – 1602.

SHREVE, Randolph Norris Indústrias de processos químicos. In: SHREVE, R. Norris, BRINK, Joseph A. Jr. (Org.); Tradução de Horácio Macedo. Rio de Janeiro: Guanabara, 1977.

SHI, C.; QIAN, J. High performance cementing materials from industrial slags – a review. Resources, Conservation & Recycling 29, 2000, p. 195 – 207.

Tango ; Silva ; HAMASSAKI, L. T. . Procedimentos a serem observados na construção de estruturas.. Técnica, 1993.

UEHARA, K.; SAKURAI, M. Application of foundry slag for metal cutting – performance as a diffusion inhibitor. Journal of Materials Processing Technology 62, Japan, pl. 435 – 439, 1996.

